

**OPTICAL FIBER AMPLIFIER**

Patent Number: JP2001189510  
Publication date: 2001-07-10  
Inventor(s): YOSHIDA MINORU; SAWADA HISASHI; IMAMURA KAZUO  
Applicant(s): MITSUBISHI CABLE IND LTD  
Requested Patent: ☐ JP2001189510  
Application Number: JP19990374533 19991228  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01S3/06; H01S3/10  
EC Classification:  
Equivalents:

**Abstract**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical fiber amplifier which efficiently amplifies the light of long wavelength, especially that of 1.62  $\mu\text{m}$  or longer.

**SOLUTION:** A first excitation light source LD12a which outputs a first excitation light of first wavelength, a second excitation light source LD12b which outputs a second excitation light of a second wavelength different from the first wavelength, multiplexers 14a and 14b which multiplexes the first and second excitation light and the signal light of a third wavelength longer than the first and second wavelength, and an optical amplification fiber 1 in which the first and second excitation light that is multiplexed by the multiplexer as well as the signal light are guided, are provided. The optical amplification fiber 10 absorbs the first excitation light and excited to a first excitation state from a base condition, and absorbs the second excitation light and excited into a second excitation state from the first excitation state, with the signal light amplified by induced emission with the signal light.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-189510  
(P2001-189510A)

(43) 公開日 平成13年7月10日 (2001.7.10)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード (参考)
H 0 1 S 3/06		H 0 1 S 3/06	B 5 F 0 7 2
3/10		3/10	Z

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平11-374533

(22) 出願日 平成11年12月28日 (1999.12.28)

(71) 出願人 000003263

三菱電線工業株式会社  
兵庫県尼崎市東向島西之町8番地

(72) 発明者 吉田 実

兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線  
工業株式会社伊丹製作所内

(72) 発明者 澤田 久

兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線  
工業株式会社伊丹製作所内

(74) 代理人 100077931

弁理士 前田 弘 (外1名)

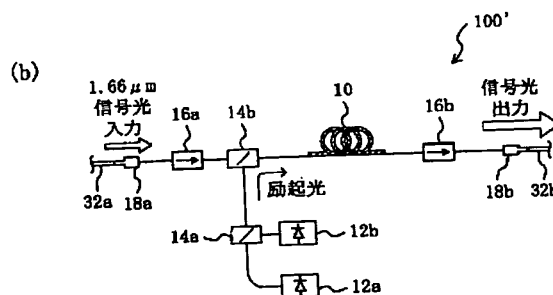
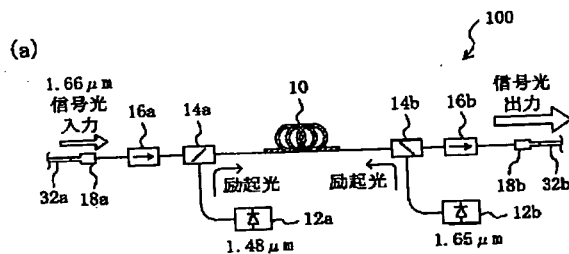
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバアンプ

(57) 【要約】

【課題】 長波長の光、特に、 $1.62\mu\text{m}$ より長い波長の光を効率良く増幅できる光ファイバアンプを提供する。

【解決手段】 光ファイバアンプは、第1波長の第1励起光を出力する第1励起光源LD12aと、第1波長と異なる第2波長の第2励起光を出力する第2励起光源LD12bと、第1および第2励起光と、第1および第2波長のいずれよりも長い第3波長の信号光とを合波する合波器14aおよび14bと、合波器によって合波された第1および第2励起光と信号光とが導かれる光増幅用ファイバ10とを有する。光増幅用ファイバ10は、第1励起光を吸収し基底状態から第1励起状態に励起され、第2励起光を吸収し第1励起状態から第2励起状態に励起され、信号光による誘導放出によって信号光を増幅する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1波長の第1励起光を出力する第1励起光源と、

前記第1波長と異なる第2波長の第2励起光を出力する第2励起光源と、

前記第1および第2励起光と、前記第1および第2波長のいずれよりも長い第3波長の信号光とを合波する合波器と、

前記合波器によって合波された前記第1および第2励起光と前記信号光とが導かれる光増幅用ファイバと、

を有し、  
前記光増幅用ファイバは、前記第1励起光を吸収し基底状態から第1励起状態に励起され、前記第2励起光を吸収し前記第1励起状態から第2励起状態に励起され、前記信号光による誘導放出によって前記信号光を増幅する光ファイバアンプ。

【請求項2】 前記第1波長は $1.48\mu\text{m}$ または $0.98\mu\text{m}$ であり、前記第2波長は $1.62\mu\text{m}$ より長い、請求項1に記載の光ファイバアンプ。

【請求項3】 前記合波器は、ファイバループミラー型合波器である請求項1または2に記載の光ファイバアンプ。

【請求項4】 前記光増幅用ファイバは、コアおよびクラッドを有し、前記コアに希土類元素がドーピングされた光ファイバである請求項1から3のいずれかに記載の光ファイバアンプ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバアンプに関し、特に、光通信ネットワークシステムに好適に用いられる光ファイバアンプに関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、高度情報化社会の到来に向けて、光ファイバを用いた大容量高速伝送ネットワークは、長距離基幹伝送路から加入者系へと拡大されつつある。このような光ファイバネットワークシステムにおいて、光を直接増幅することができる光ファイバアンプは必要不可欠な構成要素になっている。

【0003】光ファイバアンプには、各種の非線形作用を利用したものが知られており、例えば、希土類元素ドーピング光ファイバ、ファイバラマン、ファイバブリルアンを用いた光ファイバアンプがある（例えば、中沢正隆、応用物理、56、p. 1256（1987）参照）。これらの光ファイバアンプのうち、希土類元素ドーピング光ファイバを用いたものは、利得および効率がよく、また雑音特性にも優れている。一般に、希土類元素ドーピング光ファイバは、少なくともコアおよびクラッドを有し、そのコアに希土類元素がドーピングされている。 $1.55\mu\text{m}$ 帯の光を増幅するための希土類元素ドーピング光ファイバとしては、エルビウム（Er）ドーピング光ファイバ（以下、

「EDF」と称する。）の特性が優れている。

【0004】図5に、従来の、EDFを用いた光ファイバアンプ（以下「EDFA」と称する。）300を模式的に示す。

【0005】EDFA300は、EDF30と、励起用レーザダイオード（以下、「LD」と称する。）22と、励起光と信号光とを合波するための波長合波機（Wavelength Division Multiplexer、以下、「WDM」と称する）34と、アイソレータ36aおよび36bを有している。EDFA300は、コネクタ38aおよび38bを介して、光ファイバネットワークシステムに挿入・結合されている。

【0006】EDFA200の動作を以下に簡単に説明する。

【0007】コネクタ38aに接続された光ファイバ32aから入力された信号光（例えば、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯）は、WDM34によって、励起用LD22から出射された励起光（例えば、波長 $1.48\mu\text{m}$ 帯または波長 $0.98\mu\text{m}$ 帯）と合波され、EDF30に伝搬する。EDF30によって増幅された信号光は、コネクタ38bに接続された光ファイバ32bに出力される。なお、アイソレータ36aおよび36bは、入出力コネクタ38aおよび38bおよび励起用LD22などからの反射、EDF30や光ファイバ32aおよび32b中の散乱による寄生発振の発生、信号光の多重反射、ASE（Amplified Spontaneous Emission）の発生を抑制し、利得および出力強度の向上や雑音特性を改善する。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来のEDFAは、専ら $1.55\mu\text{m}$ 帯の光を増幅するために用いられており、EDFの長さを長くすることによっても、せいぜい $1.62\mu\text{m}$ 以下の波長の光しか増幅することができなかった。また、EDFの長さを長くすると、ファイバの波長分散および偏波モード分散の影響を受けやすく、実用的な特性が得られない。さらに、通常の5倍程度のEDF長が必要となり、装置の大型化を招くことになる。

【0009】また、長波長の光を増幅することができる光ファイバアンプとして、ラマン現象を用いたものもあるが（例えば、S. A. E. Lewis, et al., Electronics Letters, Vol. 35 (20) 1761, 1999）、実用的に用いるには、光の増幅効率が低いなどのいくつかの技術的な課題がある。

【0010】本発明は、上記の課題を解決するためになされたものであり、長波長の光、特に、 $1.62\mu\text{m}$ より長い波長の光を効率良く増幅できる光ファイバアンプを提供することを目的とする。

## 【0011】

## 3

【課題を解決するための手段】本発明による光ファイバアンプは、第1波長の第1励起光を出力する第1励起光源と、前記第1波長と異なる第2波長の第2励起光を出力する第2励起光源と、前記第1および第2励起光と、前記第1および第2波長のいずれよりも長い第3波長の信号光とを合波する合波器と、前記合波器によって合波された前記第1および第2励起光と前記信号光とが導かれる光増幅用ファイバとを有し、前記光増幅用ファイバは、前記第1励起光を吸収し基底状態から第1励起状態に励起され、前記第2励起光を吸収し前記第1励起状態から第2励起状態に励起され、前記信号光による誘導放出によって前記信号光を増幅する構成を有し、そのことによって上記目的が達成される。

【0012】前記第1波長は1.48 $\mu\text{m}$ または0.98 $\mu\text{m}$ であり、前記第2波長は1.62 $\mu\text{m}$ より長い、構成としてもよい。

【0013】前記合波器は、ファイバループミラー型合波器である構成としてもよい。

【0014】前記光増幅用ファイバは、コアおよびクラッドを有し、前記コアに希土類元素がドープされた光ファイバであることが好ましい。特に、エルビウム(Er)ドープ光ファイバが好ましい。

【0015】

【発明の実施の形態】まず、本発明の光ファイバアンプの光増幅機構を説明する。本発明者は、光増幅用ファイバの光増幅機構を詳細に検討した結果、光ファイバの励起状態吸収(Excited State Absorption)を利用することによって、1.62 $\mu\text{m}$ を越える長波長の光を増幅できるという、新たな知見を得た。本発明は、この知見に基づいてなされたものである。

【0016】図1に示すエネルギーバンド図を参照しながら、従来の光ファイバアンプにおける光増幅機構と、本発明の光ファイバアンプにおける光増幅機構の原理を希土類元素ドープファイバアンプを例に説明する。

【0017】従来の光ファイバアンプは、図1(a)に示したように、光増幅用の希土類元素ドープ光ファイバに励起光(例えば、波長1.48 $\mu\text{m}$ 帯または波長0.98 $\mu\text{m}$ 帯)を入射させると、光ファイバの希土類元素の電子は、基底状態(Grand State)から第1励起状態(First Excited State)に励起される。すなわち、光ファイバは、基底状態吸収(Grand State Absorption)によって第1励起状態に励起される。第1励起状態にある光ファイバに、信号光(励起光よりも波長が長い:例えば、1.55 $\mu\text{m}$ 帯)を入射させると、第1励起状態にある電子が信号光と同じ波長の光を放出しながら緩和する、いわゆる信号光による誘導放出がおこる。その結果、信号光が増幅され、光ファイバから出射される。

## 4

【0018】一方、希土類元素は種々の電子状態を有し、励起状態吸収を示すものがある(例えば、Er元素)。この励起状態吸収を利用することによって、長波長の光の増幅が可能となる。

【0019】図1(b)に示したように、光ファイバに第1励起光を入射させることによって、希土類元素を基底状態から第1励起状態に励起する。第1励起光は従来の励起光と同じ波長(例えば、波長1.48 $\mu\text{m}$ 帯または波長0.98 $\mu\text{m}$ 帯)の光であり、この基底状態吸収の過程は、図1(a)に示した従来の光ファイバにおける励起機構と同じである。さらに、第1励起光とともに第2励起光(第1励起光よりも波長が長い、例えば、波長1.63 $\mu\text{m}$ 帯)を光ファイバに入射させると、第1励起状態に励起された電子は、励起状態吸収によって、さらに高いエネルギーレベルの第2励起状態まで励起される。第2励起状態にある光ファイバに、信号光(第2励起光よりも波長が長い:例えば、波長1.65 $\mu\text{m}$ 帯)を入射させると、第2励起状態にある電子が信号光と同じ波長の光を放出しながら緩和する(第2励起状態を介した誘導放出)。その結果、長波長の信号光が増幅され、光ファイバから出射される。

【0020】励起状態吸収を示す光ファイバとして、Erドープ光ファイバ(EDF)を挙げることができる。EDFの誘導放出断面積 $\sigma_e$ および励起状態吸収断面積 $\sigma_{aESA}$ は、図2示す波長依存性を有している。

【0021】図2に模式的に示したように、典型的なシリカガラスにErをドープしたEDFの誘導放出断面積 $\sigma_e$ (図中の破線)は波長が長くなるにつれて減少し、励起状態吸収断面積 $\sigma_{aESA}$ (図中の実線)は、約1.62 $\mu\text{m}$ 付近から現れ、波長が長くなるにつれて増大し、これらは波長約1.63 $\mu\text{m}$ 付近で交差する。このEDFは、波長が約1.62 $\mu\text{m}$ を越える長波長領域に、励起状態吸収を示す波長よりも長波長側に、誘導放出がおこり得る波長領域を有するので、約1.62 $\mu\text{m}$ よりも波長の長い励起光(第2励起光)を用いることによって、さらに波長の長い光(信号光)を増幅することができる。なお、シリカ以外のガラスのなかには、より短波長(例えば、約1.61 $\mu\text{m}$ )から励起状態吸収(ESA)が起こるものがあり、このようなガラスを用いると、1.62 $\mu\text{m}$ よりも短い波長の光を第2励起光として利用することもできる。第2励起光の波長は、用いる材料に応じて、励起状態吸収が生ずる波長域に適宜設定され得る。

【0022】なお、本願明細書における、第1励起状態および第2励起状態は、任意の2つの励起状態のうち、エネルギーレベルの低い方を第1励起状態、高い方を第2励起状態と呼び、基底状態から順に、第1、第2、・・と名付けられる厳密な意味での第1励起状態や第2励起状態と異なる場合がある。また、「第2励起状態にある電子が信号光と同じ波長の光を放出しながら緩和する

(第2励起状態を介した誘導放出)」は、少なくとも一旦第2励起状態に励起された電子の緩和過程における誘導放出を意味し、例えば、第2励起状態から無輻射過程で第3の励起状態に緩和し、この第3励起状態にある電子の緩和に伴う誘導放出を含む。

【0023】(実施形態1)本発明による実施形態のEDFを用いた光ファイバンプ(以下「EDFA」と称する。)を図3(a)および(b)に模式的に示す。ここでは、シリカ系EDFを用いた例を示す。

【0024】図3(a)に示したEDFA100は、EDF10と、第1励起用LD12aと、第2励起用LD12bと、第1LD12aから出射された第1励起光と信号光とを合波するための波長合波機WDM14aと、第2LD12bから出射された第2励起光と信号光とを合波するためのWDM14bと、アイソレータ16aおよび16bを有している。EDFA100は、コネクタ18aおよび18bを介して、従来のEDFAと同様に、光ファイバネットワークシステムに挿入・結合されている。第1励起用LD12aから出射される第1励起光の波長と、第2励起用LD12bとから出射される第2励起光の波長とは、互いに異なり、少なくとも一方は1.62μmよりも長い。

【0025】EDFA100は、以下のように動作し、従来のEDFAでは増幅することができなかった、波長が1.62μmよりも長い信号光を増幅する。

【0026】コネクタ18aに接続された光ファイバ32aから入力された信号光(例えば、波長1.66μm帯)は、WDM14aによって、第1励起用LD12aから出射された第1励起光(例えば、波長1.48μm帯または波長0.98μm帯)と合波され、EDF10に伝搬する。また、信号光(例えば、波長1.66μm帯)は、WDM14bによって、第2励起用LD12bから出射された第2励起光(例えば、波長1.63μm帯)と合波される。この信号光は、上述した励起状態吸収を伴う機構によって、EDF10内で増幅される。

【0027】EDF10によって増幅された信号光は、コネクタ18bに接続された光ファイバ32bに出力される。なお、アイソレータ16aおよび16bは、従来と同様に、入出力コネクタ18aおよび18bおよび励起用LD12aおよびLD12bなどからの反射、EDF10や光ファイバ32aおよび32b中の散乱による寄生発振の発生、信号光の多重反射、ASEの発生を抑制し、利得および出力強度の向上や雑音特性を改善する。

【0028】本実施形態のEDFを用いた光ファイバンプは、上記に例に限られず、例えば、図3(b)に示した光ファイバンプ100'を構成することもできる。図3(b)において、図3(a)の光ファイバンプ100の構成要素と実質的に同じ機能を有する構成要素は同じ参照符号で示し、その説明をここでは省略す

る。

【0029】図3(b)に示した光ファイバンプ100'は、第1励起用LD12aから出射される第1励起光および第2励起用LD12bから出射される第2励起光をいずれも前方(信号光と同じ側)からEDF10に導入する点において図3(a)に示した光ファイバンプ100と異なる。第1励起用LD12aから出射された第1励起光と第2励起用LD12bから出射された第2励起光とは、WDM14aで合波される。信号光は、WDM14bによって、第1および第2励起光と合波され、EDF10に伝搬する。この信号光は、EDF10内で増幅された後、光アイソレータ16bを介してコネクタ18bに接続された光ファイバ32bに出力される。

【0030】本実施形態のEDFA100および100'は、EDFの励起状態吸収を利用することによって、波長が1.62μmよりも長い信号光を増幅する。また、光増幅にEDFを利用しているので、ラマン現象を利用した光増幅よりも効率が良い。さらに、ファイバを長くする必要がないので、ラマン散乱、波長分散や偏波分散の影響も受けにくく、また、装置を小型化できる利点もある。

【0031】(実施形態2)図4は、本発明による実施形態の光ファイバンプ200を模式的に示している。

【0032】光ファイバンプ200は、ループ状の光ファイバ20と、第1励起用LD12aと、第2励起用LD21bと、WDM14と、カプラ24と、光サーキュレータ16とを有している。光ファイバンプ200は、コネクタ28aおよび28bを介して、光ファイバネットワークシステムに挿入・結合されている。ループ状の光ファイバ20は、典型的にはその一部にEDFを有している。第1励起用LD12aから出射される第1励起光の波長と、第2励起用LD12bとから出射される第2励起光の波長とは、互いに異なり、少なくとも一方は1.62μmよりも長い。第1励起光(例えば、波長1.48μm帯または波長0.98μm帯)と第2励起光(例えば、波長1.63μm帯)とは、WDM14によって互いに合波される。

【0033】本実施形態の光ファイバンプ200においては、信号光と励起光(第1励起光と第2励起光とが合波された)との合波は、カプラ(合波器)24で行われる。ここでは、カプラ24として、波長無依存型の3dBカプラ(分岐度50%のカプラ)を用いる。3dBカプラ24は、第1ポート24aおよび第2ポート24bを有する一端と、第3ポート24cおよび第4ポート24dとを有する他端とを備えている。3dBカプラ24は、単体のとき、第1ポート24aからの入力を第3および第4ポート24c、24dに半分ずつ、第2ポート24bからの入力も第3および第4ポート24c、24dに半分ずつ出力し、また、第3ポート24cからの

入力を第1および第2ポート24a、24bに半分ずつ、第4ポート24dからの入力も第1および第2ポート24a、24bに半分ずつ出力する特性を有する。3dBカプラ24の一端に設けられている第1ポート24aおよび第2ポート24bには、ループ状の光ファイバ20の両端がそれぞれ接続されており、3dBカプラ24とループ状の光ファイバ20とで光ファイバループミラー（FLM）を構成している。

【0034】LD12aおよびLD12bから出射され、WDM14で合波された励起光は、3dBカプラ24の第3ポート24cに入力される。一方、光ファイバ32aからコネクタ28aを介して、光ファイバアンプ200に入力される信号光（例えば、波長1.66μm帯）は、光サーキュレータ26の第1端子26aに入力され、第2端子26bから3dBカプラ24の第4ポート24dに向けて出力される。

【0035】3dBカプラ24の第3ポート24cに入力された励起光および第4ポート24dに入力された信号光は、3dBカプラ24内で合波され、それぞれの50%ずつが、第1ポート24aおよび第2ポート24bからループ状の光ファイバ20に出力される。ループ状の光ファイバ20は、典型的には、希土類元素ドープ光ファイバであり、実施形態1と同様に、励起状態吸収を伴う機構で、光ファイバ20中を伝搬する信号光による誘導放出によって信号光を増幅する。ループ状の光ファイバ20は、コアに希土類元素がドープされた領域を長手方向の少なくとも一部に有すれば良い。

【0036】増幅された信号光は、第1ポート24aおよび第2ポート24bから再び3dBカプラ24に入力され、その信号のほぼ全てが第4ポート24dから出力される。この増幅された信号光は、サーキュレータ26の第2端子26bに入力され、第3端子26cから出力される。サーキュレータ26の第3端子26cから出力された信号光は、コネクタ28bを介して接続された光ファイバ32bに出力される。

【0037】本実施形態の光ファイバアンプ200は、実施形態1の光ファイバアンプと同様の効果を有するとともに、さらに、下記に説明する特徴を有する。

【0038】上述したように、本実施形態の光ファイバアンプ200は、3dBカプラ24と3dBカプラ24の一端に接続されたループ状の光ファイバ20とで構成されるFLMによって、信号光と励起光との合波を行っているため、実施形態1の光ファイバアンプ100の2つのWDM14aおよび14bの1つに代えて、例示したように、安価な3dBカプラを用いることが可能である。なお、カプラとしては、特に波長無依存型のカプラを用いることが好ましい。また、3dBカプラに限らず、種々の分岐比のカプラを用いることができ、溶融延伸ファイバ型でも、バルクミラー型でもよい。FLMを構成するループ状の光ファイバ20としては、光増幅の

機能を有するものを広く用いることができるが、性能の観点から、例示した希土類元素ドープ光ファイバ、特にEDFを用いることが好ましい。

【0039】光ファイバアンプ100の光サーキュレータ14は、図5に示した従来の光ファイバアンプ300における2つのアイソレータ36aおよび36bと同様に、コネクタ28aおよび28bやLD12aおよび12bなどからの反射、EDF20や光ファイバ32aおよび32b中の散乱による寄生発振の発生、信号光の多重反射、ASEの発生を抑制し、利得および出力強度の向上や雑音特性を改善する。さらに、従来の構成よりも部品点数を減少することができるので、光ファイバの接合部の数を減らすことが可能となり、接合部において発生する性能の低下を抑制できる利点がある。勿論、光サーキュレータ16として、4端子以上の光サーキュレータを用いても良い。

【0040】なお、ループ状に変形された光ファイバを用いると、その中を伝搬する光の偏波方向がずれる（変化すること）がある。必要に応じて、この偏波方向のずれを補償するために、偏波制御素子を設けてもよい。偏波制御素子としては、位相差板（1/4波長板や1/2波長板、およびこれらの組み合わせ等）や光ファイバをマンドレルに巻きつけたパドルなど、公知の偏波制御素子を用いることができる。この偏波制御素子は、ループ中に設けることが好ましい。

【0041】

【発明の効果】本発明によると、励起状態吸収を利用することによって、長波長の光を効率良く増幅することが可能な光ファイバアンプが提供される。例えば、光増幅用ファイバとして、希土類元素がドープされた光ファイバ（特に、Erドープ光ファイバ）を用いることによって、波長が1.62μmよりも長い光を効率よく増幅することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の光ファイバアンプにおける光増幅機構（a）と、本発明の光ファイバアンプにおける光増幅機構（b）の原理を説明するためのエネルギーバンド図である。

【図2】Erドープ光ファイバの誘導放出断面積 $\sigma_e$ および励起状態吸収断面積 $\sigma_a$ の波長依存性を模式的に示すグラフである。

【図3】（a）および（b）は、本発明による実施形態1の光ファイバアンプ100および100'をそれぞれ示す模式図である。

【図4】本発明による実施形態2の光ファイバアンプ200を示す模式図である。

【図5】従来の光ファイバアンプ300を示す模式図である。

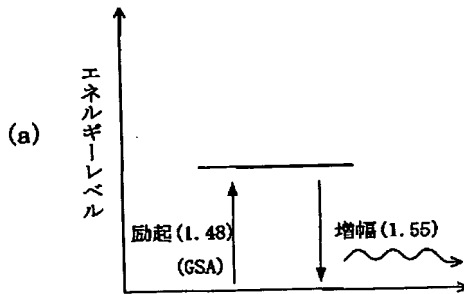
【符号の説明】

10、30 EDF

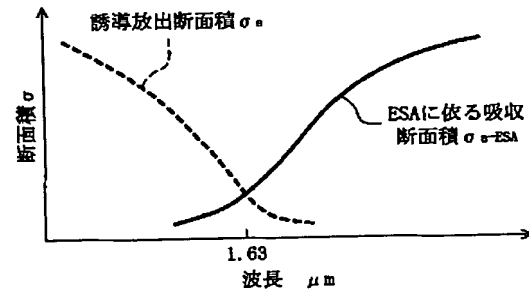
9  
 12a、12b、22 LD  
 20 ループ状の光ファイバ  
 16a、16b、36a、36b アイソレータ  
 14、14a、14b、34 波長合波機(WDM)  
 18a、18b、28a、28b、38a、38b コネクタ

24 カプラ  
 24a、24b、24c、24d ポート  
 26 光サーキュレータ  
 26a、26b、26c 端子  
 32a、32b 光ファイバ  
 100、100'、200、300 光ファイバアンプ

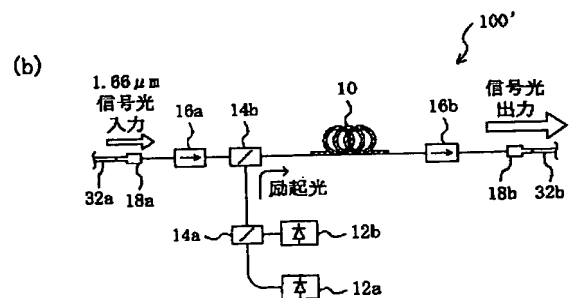
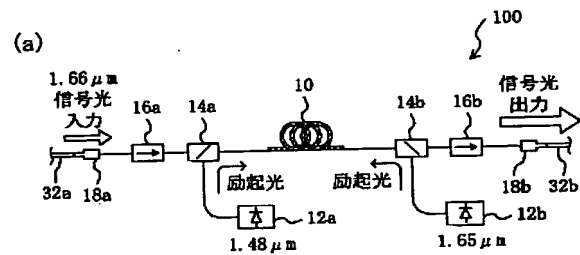
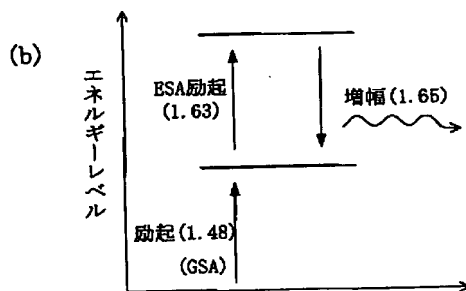
【図1】



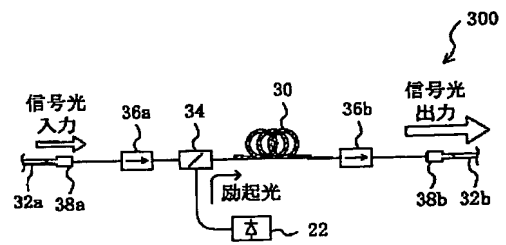
【図2】



【図3】



【图 5】



Fターム(参考) 5F072 AB09 AK06 JJ02 JJ04 JJ09  
KK30 PP07 RR01 YY17